

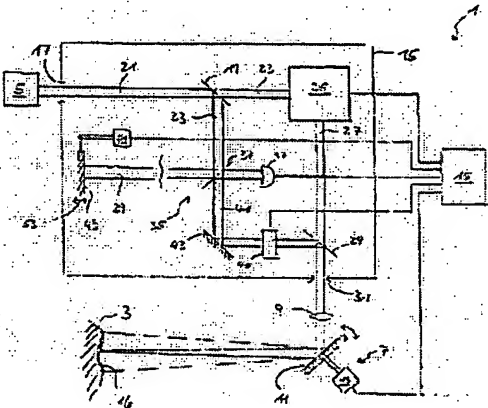
Device for machining and measurement of an object using laser ablation comprises a radiation source, circuit and guiding elements and has a simple design that enables simple handling

Veröffentlichungsnummer DE10207535
Veröffentlichungsdatum: 2003-09-11
Erfinder KRAUSE-BONTE MARGIT (DE); ANDREWS PETER (DE); GAIDA GERHARD (DE); HAUGER CHRISTOPH (DE); REIMER PETER (DE)
Anmelder: ZEISS CARL (DE)
Klassifikation:
- **Internationale:** B23K26/04; A61B3/12; A61F9/008
- **Europäische:** A61B3/107; A61F9/01; B23K26/03
Anmeldenummer: DE20021007535 20020222
Prioritätsnummer(n): DE20021007535 20020222

Report a data error here

Zusammenfassung von DE10207535

Device for machining and measurement of an object (3) comprises: a radiation source (5) for generation of high energy radiation (21); a radiation circuit (15) for processing input radiation and generating output measurement and machining radiation and for receiving radiation and directing it to an analysis device (35, 37); and a radiation guide (7) for targeting the measurement and machining radiation on to an object and reflecting back the back scattered radiation (31, 32) to the radiation circuit. The invention also relates to a method for producing an object with a design structure using a radiation ablation technique.



Daten sind von der esp@cenet Datenbank verfügbar - Worldwide

THIS PAGE RI ANK (115PT01)



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 Offenlegungsschrift
10 DE 102 07 535 A 1

51 Int. Cl.7:
B 23 K 26/04
A 61 B 3/12
A 61 F 9/008

21 Aktenzeichen: 102 07 535.2
22 Anmeldetag: 22. 2. 2002
43 Offenlegungstag: 11. 9. 2003

71 Anmelder:
Carl Zeiss, 89518 Heidenheim, DE
74 Vertreter:
Diehl, Glaeser, Hiltl & Partner, 80333 München
72 Erfinder:
Krause-Bonte, Margit, 73432 Aalen, DE; Andrews,
Peter, 73447 Oberkochen, DE; Gaida, Gerhard, Dr.,
73430 Aalen, DE; Hauger, Christoph, Dr., 73431
Aalen, DE; Reimer, Peter, 73479 Ellwangen, DE

56 Entgegenhaltungen:

DE 196 18 883 A2
DE 100 20 559 A1
WO 01 19 303 A1
WO 99 67 048

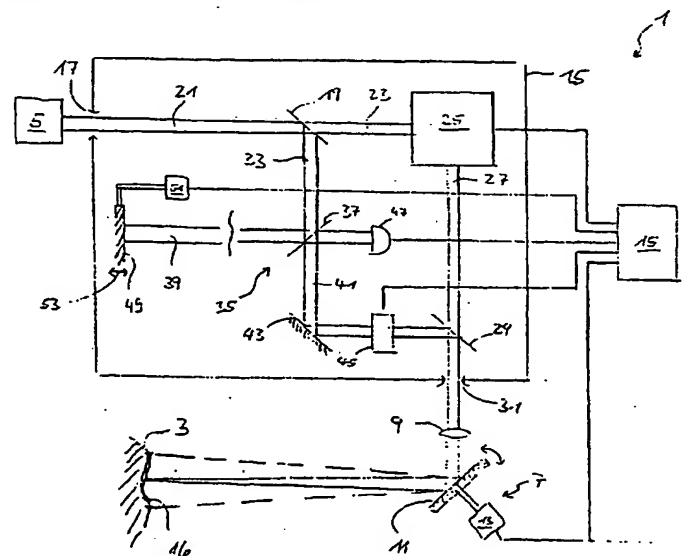
LOESEL, F.H. et al: Non-thermal ablation of neural tissue with femtosecond laser pulses. In: Applied Phys. B., 1998, Vol.66 (121-128);
BOPPART, S.A. et al: High-resolution optical coherence tomography-guided laser ablation of surgical tissue. In: J. Surgical Research, 1999, Vol.82, Nr. 2, S.275-284;
Hauger, C. et al: High Speed Low Coherence Interferometer for Optical Coherence Tomography. In: Coherence Domain Optical Methods in Biomedical Science and Clinical Applications IV, BIOS, 2002;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung zum Bearbeiten und Vermessen eines Objekts sowie Verfahren hierzu

57 Es wird eine Vorrichtung zum Bearbeiten und Vermessen eines Objekts (3) vorgeschlagen, welche umfaßt: eine Strahlungsquelle (5) zur Erzeugung von Strahlung (21); eine Strahlungsschaltung (15) mit einem einzigen Quellstrahlungseingang (17) zum Empfang der von der Strahlungsquelle (5) erzeugten Strahlung (21), wenigstens einem Ausgang (31) zur Ausgabe einer Meßstrahlung (41) und einer Bearbeitungsstrahlung (27), einem Strahlungswandler (25, 35; 91) zur Erzeugung der Meßstrahlung und der Bearbeitungsstrahlung aus der empfangenen Strahlung, einem Rückstrahlungseingang (31; 32) zum Empfang von von dem Objekt zurückgeworfener Meßstrahlung und einen Analysator (35, 47) zur Ermittlung von in der empfangenen zurückgeworfenen Strahlung enthaltener Abstandsinformation; eine Strahlführung (7) zum Richten der an dem Ausgang (31) der Strahlungsschaltung (15) ausgegebenen Meßstrahlung (41) und Bearbeitungsstrahlung (27) auf das Objekt (3) und zum Leiten der von dem Objekt (3) zurückgeworfenen Strahlung zu dem Rückstrahlungseingang (31; 32) der Strahlungsschaltung (15).



DE 102 07 535 A 1

DE 102 07 535 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Bearbeiten und Vermessen eines Objekts sowie ein Verfahren hierzu.

[0002] Insbesondere erfolgen bei der Vorrichtung und dem Verfahren sowohl das Bearbeiten als auch das Vermessen des Objekts auf optischem Wege unter Einsatz von elektromagnetischer Strahlung. Zum Bearbeiten wird Energie durch elektromagnetische Strahlung auf das Objekt gerichtet, um dessen Struktur zu beeinflussen. Ein Beispiel hierfür ist Laserablation, welche in der Chirurgie und in der Materialbearbeitung Anwendung findet. Die Bearbeitung kann allerdings auch eine Änderung von optischen Eigenschaften umfassen, wie etwa Änderungen des Brechungsindex oder einer Polarisierungseigenschaft eines bearbeiteten Materials.

[0003] Das Vermessen umfasst das Bestrahlen des Objekts mit Meßstrahlung und die Untersuchung und Analyse von dem Objekt zurückgeworfener Meßstrahlung, um daraus Abstandsinformation zu ermitteln und Informationen über die Struktur des Objekts zu gewinnen. Die Abstandsinformation umfasst dabei beispielsweise Information über Abstände zwischen verschiedenen Strukturen des Objekts relativ zueinander oder zwischen Strukturen des Objekts und der Vorrichtung zum Vermessen selbst.

[0004] Aus "High-Resolution Optical Coherence Tomography-Guided Laser Ablation of Surgical Tissue" von Stephen A. Boppart et al., JOURNAL OF SURGICAL RESEARCH Vol. 82, Nr. 2, Seiten 275 bis 284, April 1999, ist eine Vorrichtung und ein Verfahren zum chirurgischen Bearbeiten von Gewebe und zum Vermessen desselben bekannt. Dabei wird die Strahlung eines Argonlasers verwendet, um Gewebematerial abzutragen, während die Strahlung einer Superlumineszenzdiode auf das Gewebe gerichtet wird, um mittels optischer Kohärenztomographie ("optical coherence tomography", OCT) Information über die geometrische Struktur des Gewebes zu gewinnen.

[0005] Diese bekannte Vorrichtung wird hinsichtlich ihres Aufbaus als zu aufwendig oder/und hinsichtlich ihrer Handhabbarkeit als zu beschränkt empfunden.

[0006] Demgemäß ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Vorrichtung und ein Verfahren zum Bearbeiten und Vermessen eines Objekts vorzuschlagen, welche einen einfachen Aufbau oder/und eine einfache Handhabbarkeit aufweist.

[0007] Die Erfindung schlägt eine Vorrichtung zum Bearbeiten und Vermessen eines Objekts vor, welche auf das Objekt Bearbeitungsstrahlung zur Änderung einer Struktur des Objekts und Meßstrahlung richtet und welche von dem Objekt zurückgeworfene Meßstrahlung analysiert, um daraus Abstandsinformation in Bezug auf die Struktur des Objekts zu ermitteln.

[0008] Hierzu umfasst die Vorrichtung eine Strahlungsschaltung mit wenigstens einem optischen Eingang und wenigstens einem optischen Ausgang. In Analogie zu einer elektrischen Schaltung, welche an ihren Eingängen bereitgestellte elektrische Signale verarbeitet und diesen eingegebenen elektrischen Signalen entsprechende elektrische Signale an den elektrischen Ausgängen bereitstellt, wobei die ausgegebenen elektrischen Signale aus den eingegebenen Signalen durch Umformen, Abwandeln und Abändern hervorgehen oder auch einem eingegebenen elektrischen Signal identisch entsprechen können, verarbeitet die Strahlungsschaltung an ihren optischen Eingängen eingegebene Strahlung und gibt diese entsprechend umgeformt, abgewandelt oder auch identisch an den optischen Ausgängen der Strahlungsschaltung aus.

[0009] Die Strahlungsschaltung umfasst wenigstens einen

optischen Quellstrahlungseingang zum Empfang von in einer Strahlungsquelle erzeugten Strahlung, wenigstens einen Ausgang zur Ausgabe einer Bearbeitungsstrahlung, wenigstens einen Ausgang zur Ausgabe einer Meßstrahlung und wenigstens einen Eingang zum Empfang von von dem Objekt zurückgeworfener Meßstrahlung.

[0010] Ferner umfasst die Strahlungsschaltung einen Analysator, um aus der zurückgeworfenen Strahlung Abstandsinformation zu ermitteln und diese Abstandsinformation repräsentierende Abstandssignale, beispielsweise in Form von Bildinformation, auszugeben.

[0011] Die Vorrichtung umfasst ferner eine Strahlführung, um die an den Ausgängen der Strahlungsschaltung bereitgestellte Meßstrahlung und Bearbeitungsstrahlung auf das Objekt zu richten und die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung zu dem entsprechenden Eingang der Strahlungsschaltung zu leiten.

[0012] Insbesondere wird hierbei die Meßstrahlung und die Bearbeitungsstrahlung auf einen Ort des Objekts fokussiert, so dass ein zu einem Zeitpunkt mit Meß- bzw. Bearbeitungsstrahlung beleuchteter Bereich des Objekts möglichst klein ist. Die Größe dieses mit Meßstrahlung beleuchteten Bereichs definiert dann auch ein Auflösungsvermögen für das Vermessen des Objekts, da die von diesem Bereich zurückgeworfene Strahlung im Hinblick auf das Vermessen analysiert wird. Die zurückgeworfene Strahlung ist hierbei insbesondere unmittelbar zurückgeworfene Strahlung, also solche Strahlung, die durch Streuung der Meß- bzw. Bearbeitungsstrahlung oder Reflexion derselben entsteht, so dass zwischen der auftreffenden Meß- und Bearbeitungsstrahlung und der zurückgeworfenen Strahlung ein unmittelbarer zeitlicher Zusammenhang, insbesondere eine Kohärenzbeziehung, besteht.

[0013] Vorzugsweise weist die Strahlungsschaltung lediglich einen einzigen Quellstrahlungseingang auf, so dass lediglich eine einzige Strahlungsquelle für den Betrieb der Vorrichtung vorgesehen ist. Dieser Auslegung der Vorrichtung liegt die Überlegung zugrunde, dass es vorteilhaft ist, sowohl für die Bearbeitung des Objekts als auch für dessen Vermessung Strahlung mit gemeinsamen charakteristischen Eigenschaften bereitzustellen, wie sie dann durch eine einzige Strahlungsquelle geliefert werden kann. Sowohl die Meßstrahlung als auch die Bearbeitungsstrahlung kann in der Strahlungsschaltung aus der Quellstrahlung durch Umformen, wie etwa Verstärken oder Dämpfen oder Ändern der zeitlichen oder spektralen Struktur erzeugt werden. Hierbei kann die für die Meßstrahlung und die Bearbeitungsstrahlung von der Strahlungsschaltung durchgeführte Verarbeitung bzw. Umformung verschieden sein, es ist jedoch auch möglich, dass die Bearbeitungsstrahlung die Meßstrahlung umfasst, das heißt eine gleiche Strahlungsart sowohl für die Bearbeitungszwecke als auch für die Meßzwecke eingesetzt wird.

[0014] Vorzugsweise ist für das Richten der Meßstrahlung und der Bearbeitungsstrahlung auf das Objekt und für das Leiten der von dem Objekt zurückgeworfenen Strahlung zu der Strahlungsschaltung eine gemeinsame Strahlführung vorgesehen, in welcher Strahlquerschnitte der Meßstrahlung, der Bearbeitungsstrahlung und der zurückgeworfenen Strahlung einander wenigstens teilweise überlappen und insbesondere deren optische Achsen im wesentlichen zusammenfallen.

[0015] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform wird die Bearbeitungsstrahlung durch Verstärken der von der Strahlungsquelle erzeugten Strahlung gebildet, wozu die Strahlungsschaltung einen Strahlungsverstärker umfasst, der dann vorzugsweise ein Lasermaterial aufweist, welches gleich einem Lasermaterial der Strahlungsquelle ist.

[0016] Ferner ist vorgesehen, dass dann, wenn eine Messung ohne gleichzeitige Bearbeitung des Objekts erfolgen soll, die Strahlungsschaltung einen Strahlungsdämpfer umfasst, um die von der Strahlungsquelle erzeugte Strahlung derart zu dämpfen, dass sie als Meßstrahlung zur Ermittlung der gewünschten Abstandsinformation ausreicht, allerdings im wesentlichen keine Bearbeitung des Objekts, das heißt Änderungen an dessen Struktur, hervorruft.

[0017] Die Strahlungsquelle ist bevorzugterweise eine gepulste Laserlichtquelle, vorzugsweise ein Titan-Saphir-Laser, ein Neodym-Glas-Laser, ein Chrom-Försterit-Laser oder ein Chrom-Colquiril-Laser.

[0018] Der Analysator kann die Information über die Struktur des Objekts mit jeglichen hierzu bekannten Verfahren gewinnen. Beispiele hierfür sind der Einsatz einer Kamera, wie etwa eine CCD-Kamera, um ortsabhängige Strahlungsintensitäten aufzuzeichnen, und ein Laufzeitverfahren, um über ortsabhängig unterschiedliche Laufzeiten von optischen Pulsen die Information über die Struktur des Objekts zu gewinnen. Vorzugsweise wird zur Ermittlung der Abstandsinformation bzw. Struktur des Objekts eine Interferometeranordnung, insbesondere eine Kohärenztomographievorrichtung eingesetzt. Vorzugsweise weist hierbei die Meßstrahlung eine Kohärenzlänge auf, die von einer Größenordnung oder kleiner ist als eine kleinste auflösbare Struktur des Objekts.

[0019] Hierzu umfasst die Strahlungsschaltung vorzugsweise eine Vorrichtung zum Aufteilen von Strahlung in einen ersten Teilstrahl und einen zweiten Teilstrahl und zum nachfolgenden Überlagern der beiden Strahlen zur Meßstrahlung, wobei optische Weglängen der beiden Teilstrahlen zwischen Aufteilung und Überlagerung sich um eine vorbestimmte Längendifferenz unterscheiden, welche größer ist als die Kohärenzlänge der Meßstrahlung.

[0020] Alternativ oder ergänzend hierzu ist ebenfalls vorgesehen, dass der Analysator eine Vorrichtung zum Aufteilen von Strahlung in einen ersten Teilstrahl und einen zweiten Teilstrahl und zum nachfolgenden Überlagern der beiden Teilstrahlen an einem Detektionsort aufweist, wobei optische Weglängen der beiden Teilstrahlen zwischen Aufteilung und Überlagerung sich ebenfalls um eine vorbestimmte Längendifferenz unterscheiden, welche größer ist als die Kohärenzlänge. Hierbei ist insbesondere vorgesehen, dass der Analysator zwei mit Abstand voneinander angeordnete Abstrahlvorrichtungen für die beiden Teilstrahlen aufweist, welche die Teilstrahlen jeweils zu einer Ebene hin abstrahlen, in der diese zu einem Interferenzmuster überlagerbar sind. In dieser Ebene ist vorzugsweise ein ortsauflösender Strahlungsdetektor, insbesondere ein Zeilendetektor angeordnet.

[0021] Das bearbeitete und vermessene Objekt kann ein beliebiges Objekt der Materialverarbeitung, wie etwa ein Werkstück aus Metall, Keramik oder Kunststoff, sein. Das Objekt kann auch ein Informationsspeichermaterial sein, welches Information durch ortsabhängige optische Eigenschaften, wie etwa Absorptionseigenschaft, Brechungsindex oder Polarisierungseigenschaft, insbesondere holographisch, speichert.

[0022] Das bearbeitete und vermessene Objekt kann ebenfalls bevorzugt ein biologisches Gewebe, wie etwa ein menschliches oder tierisches Körperteil sein, an dem ein chirurgischer Eingriff vorgenommen wird. Wird dieser Eingriff in vivo vorgenommen, so kann das Gewebe natürlichen Körperbewegungen unterworfen sein, so dass die Strahlführung vorzugsweise eine Gewebefollowingseinrichtung aufweist, um Bewegungen des Gewebes relativ zur Strahlführung zu erfassen und Bewegungen des Gewebes bei der Strahlführung zu kompensieren.

[0023] Das erfindungsgemäße Verfahren setzt vorzugsweise zur Bearbeitung und Vermessung die vorangehend beschriebene Vorrichtung ein, um auf das Objekt Bearbeitungsstrahlung und Meßstrahlung zu richten und die von dem Objekt zurückgeworfene Strahlung zur Ermittlung der 5 Abstands- und Strukturinformation aufzufangen.

[0024] Vorzugsweise wird das Verfahren zum Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Struktur eingesetzt, wobei die Struktur des Objekts vermessen wird, die vermessene Struktur mit der Soll-Struktur des Objekts verglichen wird und in Abhängigkeit von Abweichungen zwischen der vermessenen Struktur und der Soll-Struktur bestimmte Bereiche des Objekts bearbeitet werden.

[0025] Nachfolgend werden Ausführungsformen der Erfindung anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt

[0026] Fig. 1 eine Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung,

[0027] Fig. 2 eine Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung,

[0028] Fig. 3 eine Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung,

[0029] Fig. 4 eine Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung, und

[0030] Fig. 5 eine Variante einer in Fig. 1 einsetzbaren Interferometeranordnung.

[0031] Fig. 1 zeigt eine Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung 1 zur Bearbeitung und Vermessung eines Objekts 3 mit Hilfe von elektromagnetischer Strahlung. Auf das Objekt, welches ein metallisches Werkstück sein kann, kann durch die Vorrichtung 1 zum einen Bearbeitungsstrahlung an einen ausgewählten Ort des Objekts 3 gerichtet werden, um dort durch Einwirkung der Strahlungsenergie eine Materialablation, das heißt einen Materialabtrag, hervorzurufen. Ferner kann durch die Vorrichtung an auswählbare Orte des Objekts 3 Meßstrahlung gerichtet werden, welche von dem Objekt 3 zurückgeworfen wird und von der Vorrichtung 1 analysiert wird, um Informationen über die Struktur des Objekts zu gewinnen.

[0032] Hierzu umfasst die Vorrichtung 1 als Strahlungsquelle 5 einen Titan-Saphir-Laser, welcher Lichtpulse mit einer Wellenlänge von etwa 800 nm und einer Dauer von etwa 100 fs mit einer Repetitionsrate von etwa 80 MHz erzeugt.

[0033] Ferner umfasst die Vorrichtung 1 eine Strahlführung 7 mit einem Objektiv 9 und einem Spiegel 11, um die Meßstrahlung und die Bearbeitungsstrahlung auf das Objekt 3 zu fokussieren und die von dem Objekt 3 zurückgeworfene Strahlung aufzunehmen. Hierbei ist eine Winkelstellung des Spiegels 11 durch einen von einer Steuerung 15 angesteuerten Aktuator 13 änderbar, um den Ort innerhalb eines Arbeitsbereichs 16 des Objekts 3 auszuwählen, auf den die Meß- und Bearbeitungsstrahlung fokussiert ist.

[0034] Zwischen der Strahlführung 7 und der Strahlungsquelle 5 ist eine Strahlungsschaltung 15 angeordnet, welche die von der Strahlungsquelle 5 erzeugte Strahlung entgegennimmt und als Meßstrahlung und Bearbeitungsstrahlung ausgibt, und welche die von dem Objekt 3 zurückgeworfene Strahlung von der Strahlführung 7 entgegennimmt und diese analysiert, um hieraus Abstandsinformation über das Objekt zu gewinnen und diese Abstandsinformation repräsentierende Abstandssignale an die Steuerung 15 auszugeben.

[0035] Die Strahlungsschaltung 15 weist hierzu optische Ein- und Ausgänge auf, um Strahlung entgegenzunehmen

bzw. auszugeben. Ein optischer Eingang für die von der Strahlungsquelle 5 erzeugte Strahlung ist in dem Funktionsdiagramm der Fig. 1 mit 17 bezeichnet. Das Bezugszeichen 17 bezeichnet damit symbolisch eine Schnittstelle zwischen dem Ausgang der Strahlungsquelle 5 und einem Strahlteiler 19, welcher die erste optische Komponente der Strahlungsschaltung 15 ist, auf die ein von der Strahlungsquelle 5 emittierter paralleler Laserstrahl 21 trifft.

[0036] Ein den Strahlteiler 19 geradlinig durchsetzender Teilstrahl 23 des Laserstrahls 21 tritt in einen Verstärker 25 ein, welcher, gesteuert von der Steuerung 15, einzelne der von der gepulsten Strahlungsquelle 5 erzeugten Strahlungspulse verstärkt, indem diese in einem Pulsdehner ("pulse stretcher") zunächst zeitlich aufgeweitet werden, dann in einem separat gepumpten Titan-Saphir-Medium verstärkt werden und nachfolgend in einem Komprimierer ("pulse compressor") wieder komprimiert werden, so dass sie als ultrakurze Laserpulse einer Pulsdauer von 4 etwa 80 fs in parallelem Strahlengang als Bearbeitungsstrahlung 27 von dem Verstärker 25 emittiert werden.

[0037] Die Bearbeitungsstrahlung 27 durchsetzt einen weiteren Strahlteiler 29 und verläßt die Strahlungsschaltung 15 durch einen Ausgang 31 und trifft sodann auf das Objekt 9, welches die Bearbeitungsstrahlung fokussiert, so dass diese auf dem Objekt 3 auf einen Fleck mit einem Durchmesser von etwa 30 µm fokussiert ist. Durch die auf das Objekt 3 fokussierten ultrakurzen Laserpulse kann von dem Objekt 3 durch Ablation Material abgetragen werden, ohne dass Bereiche des Objekts 3, welche den Fleck umgeben, auf den die Bearbeitungsstrahlung gerichtet ist, in zu großem Maße erhitzt werden.

[0038] Der in Fig. 1 symbolisch dargestellte Ausgang 31 für die Bearbeitungsstrahlung ist wiederum als eine Schnittstelle zu verstehen zwischen der letzten optischen Komponente der Strahlungsschaltung 15, die die Bearbeitungsstrahlung 27 durchsetzt, nämlich dem Strahlteiler 29 und der ersten optischen Komponente der Strahlführung 7, nämlich dem Objektiv 9. Der Ausgang 31 der Strahlungsschaltung 15 dient auch als Ausgang für die Meßstrahlung, welche von der Strahlungsschaltung 15 folgendermaßen erzeugt wird: Die Meßstrahlung wird ebenfalls aus den von der Strahlungsquelle 5 erzeugten Laserpulsen 21 erzeugt, und zwar aus einem Teilstrahl 33 des Eingangsstrahls 21, welcher von dem Strahlteiler 19 reflektiert wird. Dieser Teilstrahl 33 wird einer Interferometeranordnung 35 zugeführt, welche durch Reflexion an einem Strahlteiler 37 aus dem Strahl 33 einen Referenzstrahl 39 auskoppelt und den Meßstrahl 41 durchläßt. Der durchgelassene Meßstrahl 41 wird an einem Spiegel 43 reflektiert, durchsetzt einen durch die Steuerung 15 schaltbaren Strahlverschluss 45 und trifft auf den Strahlteiler 29, welcher den Strahlengang der Meßstrahlung 41 mit dem Strahlengang der Bearbeitungsstrahlung 27 so überlagert, dass die Strahlquerschnitte der Bearbeitungsstrahlung 27 und der Meßstrahlung 41 im wesentlichen zusammenfallen. Nach Reflexion an dem Strahlteiler 29 trifft die Bearbeitungsstrahlung 27 auf das Objektiv derart, dass auch die Meßstrahlung 41 auf das Objekt 3 fokussiert wird. Damit ist der Ausgang 31 der Strahlungsschaltung 15 auch Ausgang für die Meßstrahlung, das heißt Schnittstelle zwischen der optischen Komponente 29 der Strahlungsschaltung 15 und der optischen Komponente 9 der Strahlführung. [0039] Der Ausgang 31 ist weiterhin Eingang für die von dem Objekt 3 zurückgeworfene Meßstrahlung, welche nämlich von dem Spiegel 11 zu dem Objektiv 9 hin gerichtet wird, welches aus der zurückgeworfenen Meßstrahlung einen parallelen Strahl formt, der in die Strahlungsschaltung 15 durch den Ein-/Ausgang 31 eintritt und von dem Strahlteiler 29 reflektiert wird, den Strahlverschluss 45 durchsetzt,

an dem Spiegel 43 reflektiert wird und sodann von dem Strahlteiler 37 hin zu einem Detektor 47 reflektiert wird. Auf den Detektor 47 wird ferner Strahlung des Referenzstrahls 39 gerichtet, welche an einem Spiegel 49 des Interferometers 35 reflektiert wird und den Strahlteiler 37 durchsetzt hat.

[0040] Somit kommen auf dem Detektor die von dem Objekt 3 zurückgeworfene Strahlung und die von dem Spiegel 49 zurückgeworfene Strahlung zur interferenten Überlagerung.

[0041] Ein durch die Steuerung 15 angesteuerter Antrieb 51 ist vorgesehen, um den Spiegel 49 in Richtung 53 des Referenzstrahls 39 zu verlagern, so dass ein optischer Weg des Referenzstrahls 39 zwischen seiner Erzeugung durch Aufteilung des Strahls 33 und Überlagerung mit der Meßstrahlung an dem Strahlteiler 37 einstellbar ist. Wenn die Stellung des Spiegels 49 durch den Antrieb 51 derart eingestellt ist, dass die optische Weglänge zwischen dem Strahlteiler 37 und dem Spiegel 49 gleich der optischen Weglänge des Meßstrahls 41 zwischen dem Strahlteiler 37 und einer Meßstrahlung zurückwerfenden Struktur des Objekts 3 ist, registriert der Detektor 47 ein durch Interferenz erhöhtes Strahlungssignal. Die von dem Detektor 47 registrierte Strahlungsintensität wird von der Steuerung 15 ausgelesen. Durch Ändern der Stellung des Spiegels 49 über den Antrieb 51 und Auslesen der von dem Detektor 47 registrierten Strahlungsintensität kann die Steuerung 15 somit ein Tiefenprofil von Strukturen des Objekts 3 aufnehmen.

[0042] Ferner steuert die Steuerung 15 den Aktuator 13 an, um derartige Tiefenprofile an mehreren verschiedenen Orten des Objekts 3 aufzunehmen, das heißt das Objekt abzutasten, so dass schließlich ein Tomogramm des Objekts 3 erzeugt ist, welches aus Binär-Bilddaten durch die Steuerung 15 beispielsweise abgespeichert oder an einer Anzeige visualisiert werden kann.

[0043] Die Strahlungsschaltung 15 verwendet die von der Quelle 5 erzeugten Laserpulse zum einen zur Umwandlung in hochenergetische Laserpulse zur Materialbearbeitung und zum anderen als Meßstrahlung kurzer Kohärenzlänge zur Auflösung von Strukturen des Objekts 3, deren Dimensionen von der Größenordnung der Kohärenzlänge oder größer sind. Hierzu sind die Pulse des Titan-Saphir-Lasers 5 besonders geeignet, da sie einerseits so kurz sind, dass deren Frequenzbreite ausreichend groß ist, um nach dem "Weißlichtinterferometrieverfahren" Strukturen des Objekts 3 aufzulösen, und da sie andererseits mit dem Verstärker 25, welcher ebenfalls Titan-Saphir-Material enthält, derart verstärkt werden können, daß eine schonende Abtragung von Material des Objekts 3 erfolgen kann.

[0044] Im Hinblick auf die Weißlichtinterferometrie sei hier noch auf die ebenfalls anhängige Patentanmeldung DE 100 41 041.3 der Anmelderin verwiesen, die für die Zwecke der vorliegenden Anmeldung ebenfalls einsetzbare Techniken der Gewinnung von Abstandsinformation offenbart. Ferner sei verwiesen auf den Konferenzbeitrag "High Speed Low Coherence Interferometer For Optical Coherence Tomography", C. Hauger et al., Coherence Domain Optical Methods in Biomedical Science and Clinical Applications IV, BIOS 2002.

[0045] Während der Vermessung des Objekts 3, das heißt der Zeit, in der sukzessive die Stellung des Spiegels 49 durch den Antrieb 51 zur Aufnahme eines Tiefenprofils des Objekts 3 an einem bestimmten Ort verändert wird, und sukzessive die Stellung des Spiegels 11 durch den Aktuator 13 zur Abtastung der Aufnahmestelle über das Objekt 3 verändert werden, steuert die Steuerung 15 den Verstärker 25 nicht zur Erzeugung von Pulsen der Bearbeitungsstrahlung 27 an. Umgekehrt steuert die Steuerung 15 den Verschluss

45 an, um einen Strahldrucktritt durch denselben zu verhindern, wenn die Steuerung 15 den Verstärker 25 zur Erzeugung der Bearbeitungsstrahlungspulse 27 ansteuert. Diese Maßnahme dient zum Schutz des Detektors 47, da die Bearbeitungsstrahlungspulse eine wesentlich höhere Intensität aufweisen als die Meßstrahlungspulse.

[0046] Im folgenden werden Varianten der vorangehend dargestellten Ausführungsform der Erfindung erläutert. Hinsichtlich ihres Aufbaus und ihrer Funktion einander entsprechende Komponenten sind mit den für die Fig. 1 verwendeten Bezugszahlen bezeichnet, zur Unterscheidung jedoch jeweils mit einem zusätzlichen Buchstaben versehen. Zur Erläuterung wird jeweils auf die gesamte vorangehende Beschreibung Bezug genommen.

[0047] In Fig. 5 ist eine Interferometeranordnung 35a einer Strahlungsschaltung 15a schematisch dargestellt, welche alternativ zu der in Fig. 1 gezeigten Interferometeranordnung der Strahlungsschaltung einsetzbar ist. Bei der in Fig. 1 gezeigten Interferometeranordnung wird eine Änderung der optischen Weglänge des Referenzstrahls durch mechanisches Verschieben des Spiegels 49 erreicht. Bei der in Fig. 5 gezeigten Interferometeranordnung 35a erfolgt eine Verstellung eines Spiegels 49a zur Reflexion eines Referenzstrahls 39a lediglich optional und zur Grobeinstellung der optischen Weglänge des Referenzstrahls 39a. Der Referenzstrahl 39a wird wiederum durch Aufteilen eines Eingangsstrahls 33a an einem Strahlteiler 37a erzeugt, wobei der Referenzstrahl 39a an den Strahlteiler 37a reflektiert wird, während Meßstrahlung 49a den Strahlteiler 37a durchsetzt. Der Strahlteiler 37a dient wiederum zur Überlagerung von von dem Objekt zurückgeworfener Strahlung mit der an dem Spiegel 49a reflektierten Strahlung des Referenzstrahls 39a und zum Richten der überlagerten Strahlung auf einen Detektor 47a. Im Strahlengang zwischen dem Strahlteiler 37a und dem Spiegel 49a ist ein Block 61 eines dispersiven Mediums angeordnet, welches für verschiedene Wellenlängen der Strahlung des Referenzstrahls 39a verschiedene optische Weglängen bereitstellt. Zwischen dem Detektor 47a und dem Strahlteiler 37a ist ein weiteres dispersives Medium, wie etwa ein Prisma 63 oder Gitter, angeordnet, welches die einander überlagerte zurückgeworfene Strahlung und Referenzstrahlung wellenlängenabhängig um unterschiedliche Winkel ablenkt.

[0048] Der Detektor 47a ist ein ortsauflösender Zeilendetektor, welcher die von dem Prisma 63 wellenlängenabhängig um unterschiedliche Winkel abgelenkte überlagerte Strahlung ortsabhängig registriert. Somit werden an verschiedenen Orten des Detektors 47a verschiedene Wellenlängen der überlagerten Strahlung nachgewiesen, wobei auf diese Orte Referenzstrahlung trifft, welche aufgrund des dispersiven Mediums 61 unterschiedliche optische Weglängen in dem Referenzarm der Interferometeranordnung 35a zurückgelegt hat.

[0049] Der Detektor 47a registriert dann an den Orten ein durch Interferenz erhöhte Strahlungsintensität, auf die Referenzstrahlung mit einer Wellenlänge trifft, für die die optische Weglänge des Referenzarms, das heißt zwischen Strahlteiler 37a und Spiegel 49a, gleich der optischen Weglänge der Meßstrahlung zwischen Strahlteiler 37a und Objekt ist.

[0050] Eine in Fig. 2 dargestellte Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung 1b dient wiederum zur Bearbeitung und Vermessung eines Objekts 3b.

[0051] Hierzu umfasst die Vorrichtung 1b eine Strahlführung 7b mit einem durch einen Aktuator 13b ansteuerbaren Spiegel 11b und ein Objektiv 9b, um die Bearbeitungsstrahlung und die Meßstrahlung an einen auswählbaren Ort des Objekts 3b zu richten. Die Bearbeitungsstrahlung und die

Meßstrahlung werden der Strahlführung 7b von einer Strahlungsschaltung 15b bereitgestellt, der Strahlung 21b einer gepulsten Strahlungsquelle 5b zugeführt wird.

[0052] Ein einen Strahlteiler 19b durchsetzender Teilstrahl 23b der von der Quelle 5b emittierten Strahlung 21b wird in einem Verstärker 25b verstärkt und als Bearbeitungsstrahlung 27b ausgegeben, welche nach Durchsetzen eines Strahlteilers 29b von der Strahlführung 7b auf das Objekt 3b gerichtet wird.

[0053] Die Meßstrahlung wird folgendermaßen erzeugt: Ein an dem Strahlteiler 19b reflektierter Teilstrahl 33b des Eingangsstrahls 21b durchläuft einen halbdurchlässigen Spiegel 49b sowie einen weiteren halbdurchlässigen Spiegel 67. Der Spiegel 67 reflektiert einen Teil der auf ihn treffenden Strahlung zurück zu dem Spiegel 49b, wird von diesem wiederum reflektiert und überlagert sich nach Transmission durch den Spiegel 67 mit der Strahlung, welche den Spiegel 67 direkt durchlaufen hat. Die durch diese Überlagerung erzeugte Strahlung wird als Meßstrahlung 41b eingesetzt. Die Meßstrahlung 41b weist damit eine besondere zeitliche Struktur auf, gemäß der ein jeder erster Strahlungspuls der Quelle 5b von einem weiteren zweiten Strahlungspuls verfolgt wird, wobei ein Abstand zwischen den beiden Strahlungspulsen der doppelten optischen Weglänge zwischen den beiden halbdurchlässigen Spiegeln 67 und 49b entspricht. Der Spiegel 49b ist durch einen von einer Steuerung 15b ansteuerbaren Antrieb 51b in Richtung 53b des Teilstrahls 33b verlagerbar, um den Abstand zwischen den beiden aufeinanderfolgenden Strahlungspulsen in der Meßstrahlung 41b zu ändern.

[0054] Nach Durchlaufen der Anordnung aus den beiden Spiegeln 67 und 49b wird die Meßstrahlung 41b von einem Kollimator 69b kollimiert und in eine optische Faser 71 eingekoppelt. Durch die optische Faser wird die Meßstrahlung 51/50 einem Strahlkoppler 73 zugeführt, den die Meßstrahlung durchläuft, und einer weiteren optischen Faser 75, an deren einem Ende eintritt und an deren anderem Ende sie austritt und von einem Kollimator 77 zu einem parallelen Strahl 41b' geformt wird. Der parallele Strahl 41b' durchsetzt einen durch die Steuerung 15b ansteuerbaren Strahlverschluß 45b und wird durch den Strahlteiler 29b mit dem Strahlquerschnitt der Bearbeitungsstrahlung 27b überlagert und nachfolgend durch die Strahlführung 7b auf auswählbare Orte des Objekts 3b gerichtet.

[0055] Damit trifft auf das Objekt Meßstrahlung mit der vorangehend beschriebenen zeitlichen Struktur mit jeweils mit festem Abstand aufeinanderfolgenden Strahlungspulsen. Diese Strahlungspulse werden jeweils von Strukturen des Objekts 3b zurückgeworfen, von denen in Fig. 2 symbolisch drei Strukturen 791, 792, 793 dargestellt sind, wobei die Struktur 791 eine Oberfläche des Objekts 3b bildet. Die zurückgeworfene Strahlung enthält somit zu einem jeden Strahlungspuls der Strahlungsquelle 5b sechs aufeinanderfolgende Strahlungspulse, deren Abstand voneinander zum einen durch den Abstand zwischen den Spiegeln 67 und 49b und zum anderen durch die Abstände zwischen den Strukturen 791, 792, 793 gegeben ist. Die zurückgeworfene Strahlung wird an dem Spiegel 11b reflektiert und von dem Objektiv 9b zu einem parallelen Strahl geformt, welche an dem Strahlteiler 29b reflektiert wird, den Verschluß 45b durchsetzt und durch den Kollimator 77 in die optische Faser 75 eingekoppelt und dem Strahlkoppler 73 zugeführt wird. Diesen durchläuft die zurückgeworfene Strahlung und wird zu einem Teil in eine weitere optische Faser 81 eingekoppelt und von dieser einem 50/50 Faserkoppler 83 zugeführt. Dieser teilt die durch die optische Faser 81 zugeführte Meßstrahlung zu gleichen Teilen in zwei optische Fasern 85 und 86 auf, deren Enden 87 bzw. 88 mit einem Abstand a neben-

einander angeordnet sind. Die Faserenden 87 und 88 bilden zwei mit Abstand a voneinander angeordnete Abstrahlorte für die Meßstrahlung, an denen diese hin zu einer Ebene 89 abgestrahlt wird, in der ein ortsauflösender Zeilendetektor 47b angeordnet ist, dessen Erstreckungsrichtung parallel zu einer Verbindungslinie zwischen den beiden Abstrahlorten 87, 88 verläuft.

[0056] Abgesehen von einem Ort auf dem Detektor 47b, welcher symmetrisch zu den beiden Abstrahlorten 87, 88 angeordnet ist, weisen die übrigen Orte des Zeilendetektors 47b unterschiedliche Abstände bzw. optische Weglängen von den beiden Abstrahlorten 87 und 88 auf. Es kann somit beispielsweise an einem Ort des Detektors 47b, welcher näher an dem Abstrahlort 87 liegt als an dem Abstrahlort 88 eine interferente Überlagerung eines ersten Strahlungspulses in der Meßstrahlung, welcher von dem Ort 88 abgestrahlt wird, mit einem nachfolgenden Strahlungspuls der zurückgeworfenen Strahlung registriert werden, welcher von dem näheren Abstrahlort 87 abgestrahlt wird. Umgekehrt kann somit durch eine Auswertung der von dem Detektor 47b ortsabhängig registrierte Strahlungsintensität auf die Abstände zwischen den zurückwerfenden Strukturen 79₁, 79₂, 79₃ geschlossen werden.

[0057] Auch die im Zusammenhang mit Fig. 2 erläuterte Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung 1b ermöglicht somit eine einfache Bearbeitung und Vermessung eines Objekts mit Hilfe von lediglich durch eine einzige Strahlungsquelle bereitgestellter Bearbeitungs- und Meßstrahlung.

[0058] Eine in Fig. 3 gezeigte Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung 1c dient zur Durchführung eines chirurgischen Eingriffs an einer Cornea eines Auges 3c eines Patienten. Da das Auge 3c willkürlichen Augenbewegungen unterworfen ist, ist eine Gewebeverfolgungseinrichtung ("eye tracker") 93 vorgesehen, welche eine aktuelle Augenstellung erfaßt und an eine Steuerung 15c übermittelt. Die Steuerung 15c steuert in Abhängigkeit von der aktuellen ermittelten Augenstellung einen Aktuator 13c zur Einstellung einer Stellung eines Spiegels 11c an, welcher zusammen mit einem Objektiv 9c Teil einer Strahlführung 7c, um Bearbeitungsstrahlung 27c und Meßstrahlung 41c zu einem ausgewählten Ort auf der Cornea des Auges 3c unabhängig von einer aktuellen Augenstellung des Patienten zu richten.

[0059] Eine Strahlungsschaltung 15c gibt die Bearbeitungsstrahlung 27c und die Meßstrahlung 41c an die Strahlführung 7c aus. Der Strahlungsschaltung 15c wird ein Strahl 21c einer gepulsten Hochleistungsstrahlungsquelle 5c zugeführt. Im Unterschied zu den vorangehend beschriebenen Ausführungsformen wird die Bearbeitungsstrahlung 27c nicht durch Verstärken der von der Strahlungsquelle 5c gelieferten Strahlung 21c erzeugt. Vielmehr weist die von der Strahlungsquelle 5c gelieferte Strahlung 21c bereits eine ausreichende Strahlungsstärke auf, um damit eine Bearbeitung der Cornea durchzuführen. Entsprechend umfasst die Strahlungsschaltung 15c einen von der Steuerung 15c ansteuerbaren Strahlabschwächer 91, welcher die eingehende Strahlung 21c im wesentlichen ungedämpft durchlässt, wenn Bearbeitungsstrahlung 27c emittiert werden soll. Für Meßzwecke hingegen, wenn lediglich Meßstrahlung 41c auf die Cornea gerichtet werden soll, steuert die Steuerung 15c den Strahlabschwächer 91 an, so dass dieser die einfallende Strahlung 21c nur soweit gedämpft durchtreten läßt, dass die durchgelassene Strahlung als Meßstrahlung 41c verwendbar ist, ohne die Struktur der Cornea zu verändern.

[0060] Die von dem bearbeiteten Objekt zurückgeworfene Strahlung wird ähnlich ausgewertet, wie dies bei der im Zusammenhang mit Fig. 2 erläuterten Ausführungsform der Fall ist. Die zurückgeworfene Meßstrahlung wird nämlich von dem Objektiv 9c zu einem parallelen Strahl geformt,

welcher an einem Strahlteiler 29c reflektiert wird und einen von der Steuerung 15c ansteuerbaren Verschluss 45c durchsetzt, von einem Kollimator 77c in eine optische Faser 75c eingekoppelt wird und einem 50/50 Strahlteiler 83c zugeführt wird. Dieser gibt die ihm zugeführte zurückgeworfene Strahlung zu gleichen Anteilen in optische Fasern 85c und 86c aus, deren Enden 87c bzw. 88c mit einem Abstand a voneinander angeordnete Abstrahlorte für die zurückgeworfene Strahlung bilden. Auf einen Zeilendetektor 47c wird eine interferente Überlagerung von an den beiden Abstrahlorten 87c, 88c abgestrahlter zurückgeworfener Strahlung registriert. Eine interferente Intensitätserhöhung wird von dem Detektor 47c an solchen Detektororten registriert, an denen Strahlungspulse zusammentreffen, die an verschiedenen Strukturen der Cornea 3c zurückgeworfen werden.

[0061] Eine in Fig. 4 gezeigte Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung 1d weist einen ähnlichen Aufbau auf, wie die im Zusammenhang mit Fig. 3 erläuterte Bearbeitungs- und Vermessungsvorrichtung.

[0062] Im Unterschied zu der in Fig. 3 gezeigten Vorrichtung weist die Vorrichtung 1d allerdings eine Strahlungsschaltung 15d auf, deren Ausgang für Bearbeitungsstrahlung 27d und Meßstrahlung 41d separat von einem Eingang 32 für die zurückgeworfene Strahlung angeordnet ist.

[0063] Die Vorrichtung 1d dient zur Oberflächenbearbeitung eines transparenten Werkstücks 3d, wie beispielsweise einer optischen Linse.

[0064] Ein Hochleistungslaser 5d erzeugt ultrakurze Laserpulse, welche von einem in der Strahlungsschaltung 15d angeordneten Abschwächer 91d wahlweise im wesentlichen ungedämpft durchgelassen werden, um die Bearbeitungsstrahlung 27d zu bilden oder welche von dem Abschwächer 91d soweit gedämpft werden, dass sie zu im wesentlichen keinen strukturellen Änderungen des Werkstücks führen, wenn sie auf dieses treffen, so dass sie als Meßstrahlung 41d einsetzbar sind. Die Pulse der Meßstrahlung oder der Bearbeitungsstrahlung werden von einem Objektiv 9d fokussiert und von einem über einen Aktuator 13d gelenkten Spiegel 11d auf das Werkstück 3d gerichtet, wobei die Bearbeitungs- bzw. Meßstrahlung an auswählbare Orte des Werkstücks 3d gerichtet werden kann, welche innerhalb eines Bearbeitungsfelds 16d des Werkstücks 3d liegen.

[0065] Die auf das Werkstück 3d treffende Meßstrahlung 41d wird zum einen von einer der Strahlführung 7d zuweisenden Oberfläche 95 und einer von der Strahlführung 7d wegweisenden Oberfläche 96 zurückgeworfen, so dass das Werkstück 3d aus den von dem Abschwächer 91d gedämpften Strahlungspulsen der Quelle 5d jeweils ein Pulspar zurückwirft, deren Abstand voneinander der doppelten optischen Weglänge zwischen Vorderfläche 95 und Rückfläche 96 an dem Ort entspricht, auf den die Meßstrahlung 41d gerichtet ist. Die zurückgeworfene Strahlung wird von einem Objektiv 10 aufgefangen, dessen Objektfeld im wesentlichen mit dem Bearbeitungsfeld 16d übereinstimmt. Damit empfängt das Objektiv die zurückgeworfene Meßstrahlung unabhängig von dem Ort in dem Bearbeitungsfeld 16d, auf den diese gerichtet ist.

[0066] Das Objektiv 10 erzeugt aus der gesammelten zurückgeworfenen Strahlung einen parallelen Strahl 12, welcher von einem Kollimator 77d in eine optische Faser 75d eingekoppelt wird. Die optische Faser 75d führt die zurückgeworfene Strahlung einem Faserkoppler 83 zu, welcher diese zu gleichen Teilen an optische Fasern 85d und 86d ausgibt. Von deren Enden 87d und 88d, welche mit einem Abstand a voneinander angeordnet sind, wird die zurückgeworfene Strahlung hin zu einem Zeilendetektor 47d abgestrahlt. Dieser registriert an solchen Orten eine durch Interferenz erhöhte Strahlungsintensität, an denen ein von der Vor-

derseite 95 zurückgeworfene und von dem einen Ort abgestrahlte Strahlungspuls mit dem von der Rückseite 96 zurückgeworfenen und von dem anderen Abstrahlort abgestrahlte Strahlungspuls zu interferenter Überlagerung kommen. Durch Auswerten der ortsabhängigen Strahlungsintensität am Ort des Detektors 47d ist es somit der Steuerung 15d möglich, die Linsendicke an dem Ort zu bestimmen, auf den die Meßstrahlung 41d gerichtet ist.

[0067] Durch Betätigen des Aktuators 13d ist es ferner möglich, diese Linsendicke an einem jeden Ort innerhalb des Arbeitsfelds 16d zu bestimmen.

[0068] Die Steuerung 15d kann nun einen Speicher umfassen, in dem die Linsendicke ortsabhängig als Soll-Linsendicke gespeichert ist. Durch Vergleich der durch Messung bestimmten aktuellen Linsendicke mit der entsprechenden Soll-Linsendicke kann die Steuerung eine Abweichung zwischen Soll-Linsendicke und aktueller Linsendicke feststellen. Ist die aktuelle Linsendicke an einem bestimmten Ort größer als die Soll-Linsendicke an diesem Ort, stellt die Steuerung den Spiegel 11d über den Aktuator 13d derart ein, dass die Bearbeitungsstrahlung 27d auf den entsprechenden Ort gerichtet ist. Sodann schaltet die Steuerung 15d den Abschwächer 91d während einer bestimmten Zeit, die einem oder mehreren Strahlungspulsen der Strahlungsquelle 5d entspricht, in seinen im wesentlichen transparenten Zustand, so dass ein oder mehrere Pulse an Bearbeitungsstrahlung 27d auf diesen Ort des Werkstücks 3d treffen, um von dessen vorderer Linsenfläche 95 Material abzutragen. Dieser Vorgang kann an verschiedenen Orten solange wiederholt werden, bis die gemessene Linsendicke im wesentlichen der Soll-Linsendicke entspricht.

[0069] Hierbei ist es auch denkbar, dass die Bearbeitungsstrahlung 27d gleichzeitig als Meßstrahlung 41d verwendet wird, das heißt es wird während der Bearbeitung auch die Struktur des arbeitenden Objekts vermessen. In einem solchen Fall ist es möglich, auf den in der Ausführungsform der Fig. 4 mit 91d bezeichneten Strahlabschwächer zu verzichten.

[0070] Ein Betrieb ohne Strahlabschwächer zu Meßzwecken ist bei der in Fig. 3 dargestellten Ausführungsform solange nicht möglich, solange das bearbeitete und vermessene Objekt ein Auge ist. Ist allerdings dort das bearbeitete und vermessene Objekt ein mechanisches Werkstück, so kann auch dort auf den Strahlabschwächer verzichtet werden.

[0071] In den vorangehend beschriebenen Ausführungsformen wird als Strahlungsquelle jeweils ein Titan-Saphir-Laser eingesetzt. Alternativ hierzu kann die Strahlungsquelle auch durch einen Neodym-Glas-Laser, einen Chrom-Forsterit-Laser oder einen Chrom-Colquiril-Laser oder einen anderen geeigneten Laser gebildet sein, dem gegebenenfalls ein Verstärker nachgeschaltet sein kann. Umfaßt die Strahlungsschaltung ferner einen Verstärker, so ist dessen Lasermaterial an das Lasermaterial der Strahlungsquelle anzupassen, um eine geeignete Strahlungsverstärkung zu erzielen.

Patentansprüche

1. Vorrichtung zum Bearbeiten und Vermessen eines Objekts (3), umfassend:
eine Strahlungsquelle (5) zur Erzeugung von Strahlung (21);
eine Strahlungsschaltung (15) mit:
einem einzigen Quellstrahlungseingang (17) zum Empfang der von der Strahlungsquelle (5) erzeugten Strahlung (21),
wenigstens einem Ausgang (31) zur Ausgabe einer

Meßstrahlung (41) und einer Bearbeitungsstrahlung (27),

einem Strahlungswandler (25, 35; 91) zur Erzeugung der Meßstrahlung und der Bearbeitungsstrahlung aus der empfangenen Strahlung,

einem Rückstrahlungseingang (31; 32) zum Empfang von von dem Objekt zurückgeworfener Meßstrahlung, und

einen Analysator (35, 47) zur Ermittlung von in der empfangenen zurückgeworfenen Strahlung enthaltener Abstandsinformation;

eine Strahlführung (7) zum Richten der an dem Ausgang (31) der Strahlungsschaltung (15) ausgegebenen Meßstrahlung (41) und Bearbeitungsstrahlung (27) auf das Objekt (3) und zum Leiten der von dem Objekt (3) zurückgeworfenen Strahlung zu dem Rückstrahlungseingang (31; 32) der Strahlungsschaltung (15).

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Strahlführung (7) einen einstellbaren Strahlblenker (11) aufweist, um die Meßstrahlung (41) oder/und die Bearbeitungsstrahlung (27) an einen auswählbaren Ort innerhalb eines Arbeitsfelds (16) des Objekts (3) zu richten.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Strahlungsquelle (5) eine gepulste Laserlichtquelle mit einem Lasermaterial ist, welches insbesondere ein Titan-Saphir-Material oder/und ein Neodym-Glas-Material oder/und ein Chrom-Forsterit-Material oder/und ein Chrom-Colquiril-Material umfaßt.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Bearbeitungsstrahlung (27d) die Meßstrahlung (41d) umfaßt.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Strahlungswandler einen Strahlungsverstärker (25) umfaßt, um aus der empfangenen Strahlung (21) die Bearbeitungsstrahlung (27) zu erzeugen.

6. Vorrichtung nach Anspruch 5, wobei der Strahlungsverstärker (25) ein Lasermaterial umfaßt, welches im wesentlichen gleich einem Lasermaterial der Strahlungsquelle (5) ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Strahlungswandler einen Strahlungsdämpfer (91) umfaßt, um aus der empfangenen Strahlung (21) die Meßstrahlung (41) zu erzeugen.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die Strahlungsschaltung (15) einen einzigen Ausgang (31) aufweist, um die Meßstrahlung (41) mit einem ersten Strahlquerschnitt und die Bearbeitungsstrahlung (27) in einem zweiten Strahlquerschnitt zur Strahlführung (7) auszugeben, wobei der erste und der zweite Strahlquerschnitt wenigstens teilweise überlappen.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Strahlführung (7) die zurückgeworfene Strahlung in einem dritten Strahlquerschnitt zu dem Rückstrahlungseingang (31) der Strahlungsschaltung (15) leitet, wobei der dritte Strahlquerschnitt mit einem ersten Strahlquerschnitt der von der Strahlungsschaltung (15) ausgegebenen Meßstrahlung (41) oder/und einem zweiten Strahlquerschnitt der von der Strahlungsschaltung (15) ausgegebenen Bearbeitungsstrahlung (27) wenigstens teilweise überlappt.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Strahlführung (7d) die zurückgeworfene Strahlung in einem dritten Strahlquerschnitt zu dem Rückstrahlungseingang der Strahlungsschaltung (15d) leitet, wobei der dritte Strahlquerschnitt mit einem ersten Strahlquerschnitt der von der Strahlungsschaltung (15d) ausgegebenen Meßstrahlung (41d) oder/und ei-

nem zweiten Strahlquerschnitt der von der Strahlungsschaltung ausgegebenen Bearbeitungsstrahlung (27d) nicht überlappt.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10 in Verbindung mit Anspruch 2, wobei die Strahlführung (7d) ein Objektiv (10) aufweist, um von dem Objekt (3d) aus einem Objektfeld zurückgeworfene Strahlung zu sammeln und zu dem Rückstrahlungseingang (32) zu leiten, wobei das Objektfeld mit dem Arbeitsfeld (16d) wenigstens teilweise überlappt.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Strahlungsschaltung (15) eine Kohärenztomographievorrichtung umfasst, um die Abstandsinformation zu erhalten.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei die Meßstrahlung eine vorbestimmte Kohärenzlänge aufweist und die Strahlungsschaltung eine Vorrichtung (37; 67) zum Aufteilen von Strahlung in einen ersten Teilstrahl und einen zweiten Teilstrahl und zum nachfolgenden Überlagern der beiden Teilstrahlen zur Meßstrahlung (41; 41b) umfasst, wobei optische Weglängen der beiden Teilstrahlen zwischen Aufteilung und Überlagerung sich um eine vorbestimmte Längendifferenz unterscheiden, welche grösser ist als die Kohärenzlänge.

14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, wobei die Meßstrahlung eine vorbestimmte Kohärenzlänge aufweist und der Analysator eine Vorrichtung (83) zum Aufteilen von Strahlung in einen ersten Teilstrahl und einen zweiten Teilstrahl und zum nachfolgenden Überlagern der beiden Teilstrahlen an einem Detektionsort (89) umfasst, wobei optische Weglängen der beiden Teilstrahlen zwischen Aufteilung und Überlagerung sich um eine vorbestimmte Längendifferenz unterscheiden, welche grösser ist als die Kohärenzlänge.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, wobei der Analysator zwei mit Abstand voneinander angeordnete Abstrahlvorrichtungen (87, 88) für den ersten und den zweiten Teilstrahl aufweist, welche die Teilstrahlen jeweils zu einer Ebene (89) hin abstrahlen, in der die von den beiden Abstrahlvorrichtungen abgestrahlten Teilstrahlen zu einem Interferenzmuster überlagerbar sind.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, wobei der Analysator einen in der Ebene (89b) angeordneten ortsauflösenden Strahlungsdetektor (47b) umfaßt.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 16, wobei die Strahlungsschaltung (15) einen Strahlteiler (37) zur Auskopplung eines Referenzstrahls aus der Meßstrahlung und einen Strahlkombinator (37) zum Überlagern des Referenzstrahls mit der zurückgeworfenen Strahlung aufweist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 17, wobei das Objekt ein biologisches Gewebe, insbesondere eines Auges, ist und die Strahlführung (7c) eine Gewebeverfolgungseinrichtung (91) umfaßt, um Bewegungen des Gewebes relativ zur Strahlführung (7c) zu erfassen, und wobei die Strahlführung eine Steuerung (15c) umfaßt, um den Strahlablenker in Abhängigkeit von der erfaßten Bewegung einzustellen.

19. Verfahren zum Herstellen eines Objekts mit einer Soll-Struktur, umfassend die Schritte:

- Bereitstellen einer Strahlungsquelle zur Erzeugung von Strahlung;
- Bereitstellen einer Strahlungsschaltung mit:
- einem einzigen Quellstrahlungseingang zum Empfang der von der Strahlungsquelle erzeugten Strahlung,

- wenigstens einem Ausgang zur Ausgabe einer Meßstrahlung und einer Bearbeitungsstrahlung,
- einem Strahlungswandler zur Erzeugung der Meßstrahlung und der Bearbeitungsstrahlung aus der empfangenen Strahlung,

- einem Rückstrahlungseingang zum Empfang von von dem Objekt zurückgeworfener Meßstrahlung, und

- einen Analysator, zur Ermittlung von in der empfangenen zurückgeworfenen Strahlung enthaltener Abstandsinformation und zur Ausgabe von diese Abstandsinformation des Objektes repräsentierenden Abstandssignalen;

- Bereitstellen einer Strahlführung zum Richten der an dem Ausgang der Strahlungsschaltung ausgegebenen Meßstrahlung und Bearbeitungsstrahlung auf das Objekt und zum Leiten der von dem Objekt zurückgeworfenen Strahlung zu dem Rückstrahlungseingang der Strahlungsschaltung;

- Vermessen einer Struktur des Objekts,

- Bestimmen von Abweichungen der vermessenen Struktur von der Soll-Sollstruktur des Objekts,

- Bearbeiten von Bereichen des Objekts in Abhängigkeit von den bestimmten Abweichungen, um die Struktur des Objekts der Soll-Struktur anzugleichen.

20. Verfahren nach Anspruch 19, wobei das Objekt ein Werkstück, insbesondere eine optische Linse, ist.

21. Verfahren nach Anspruch 19, wobei das Objekt eine Cornea eines Auges ist.

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

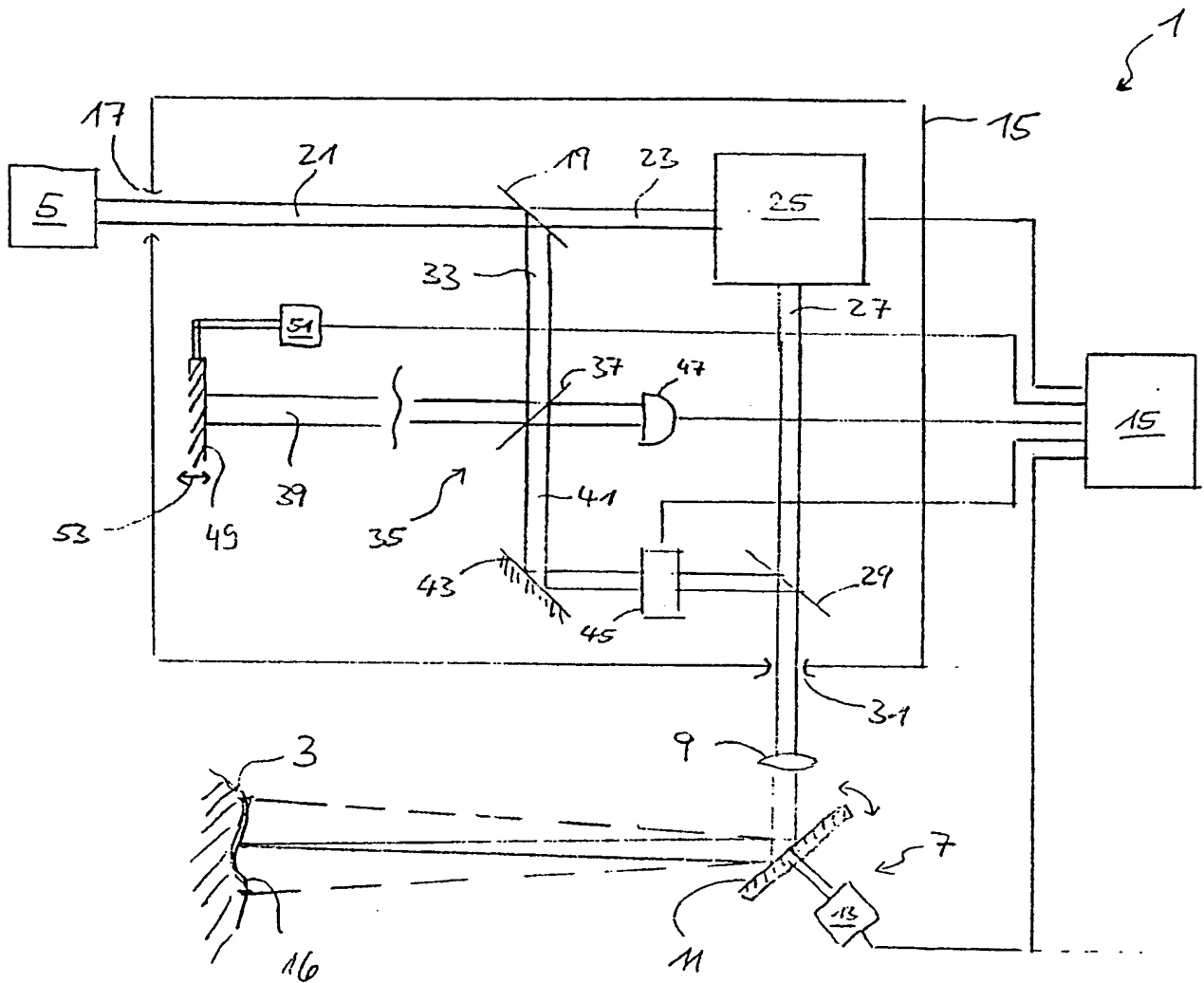


Fig 1

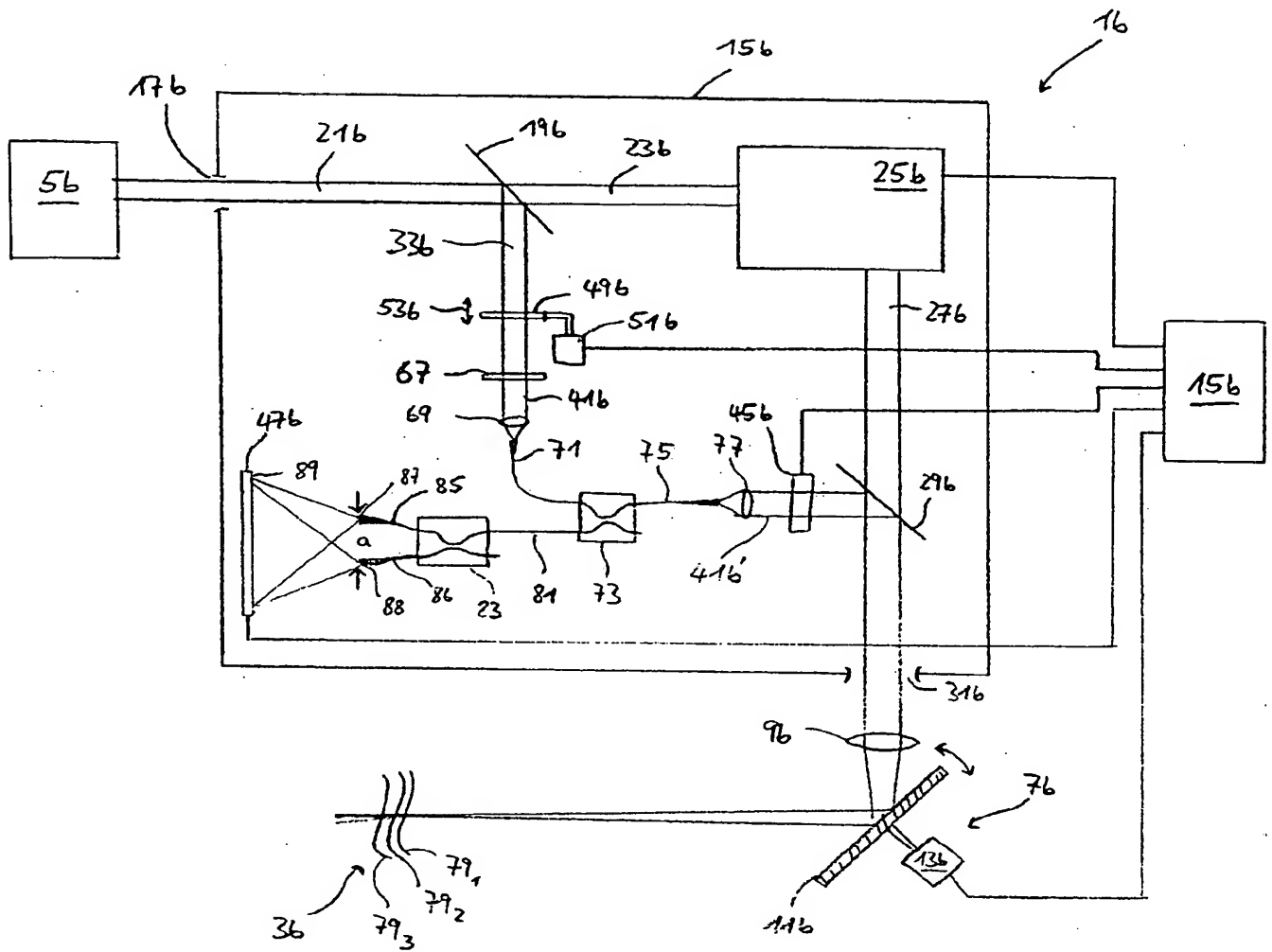


Fig 2

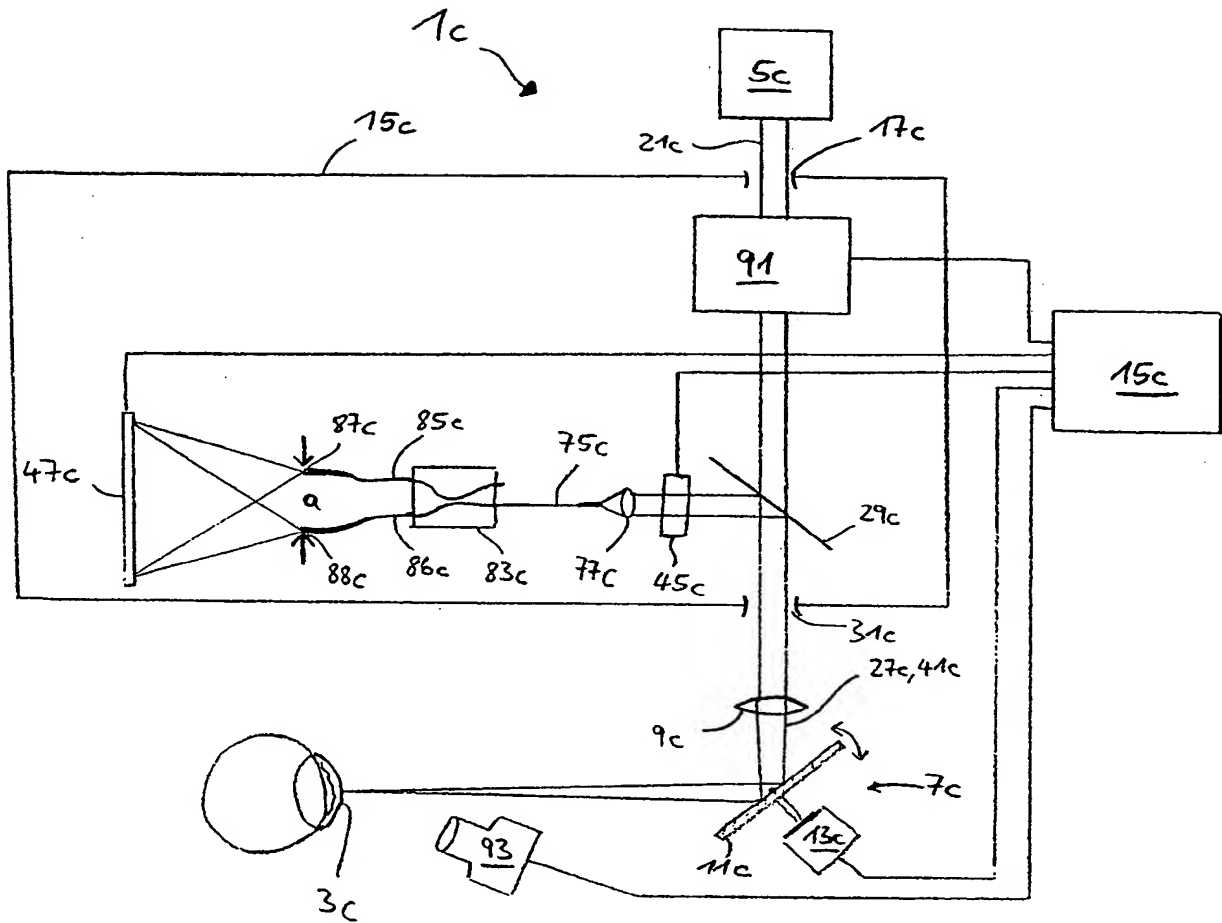


Fig. 3

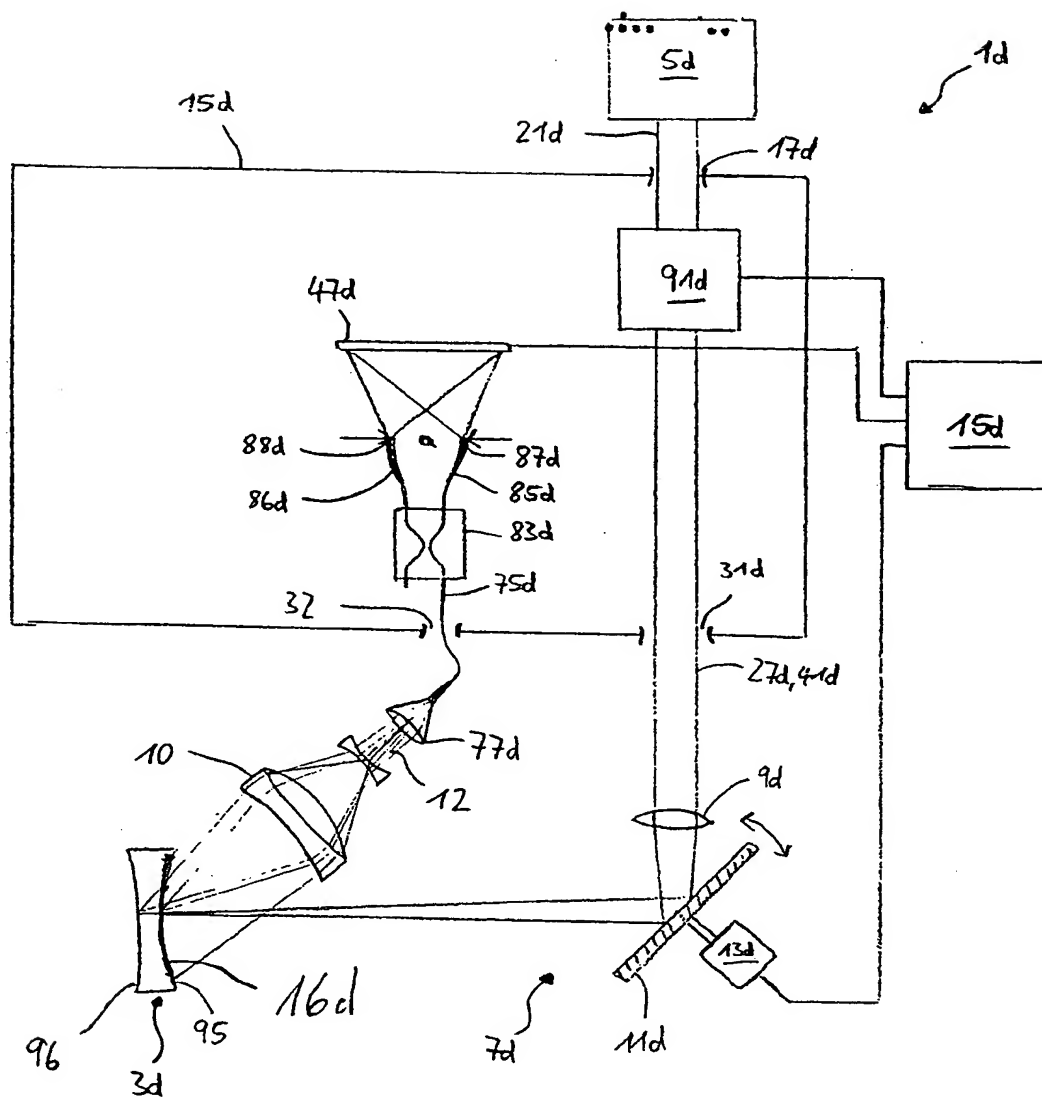


Fig 4

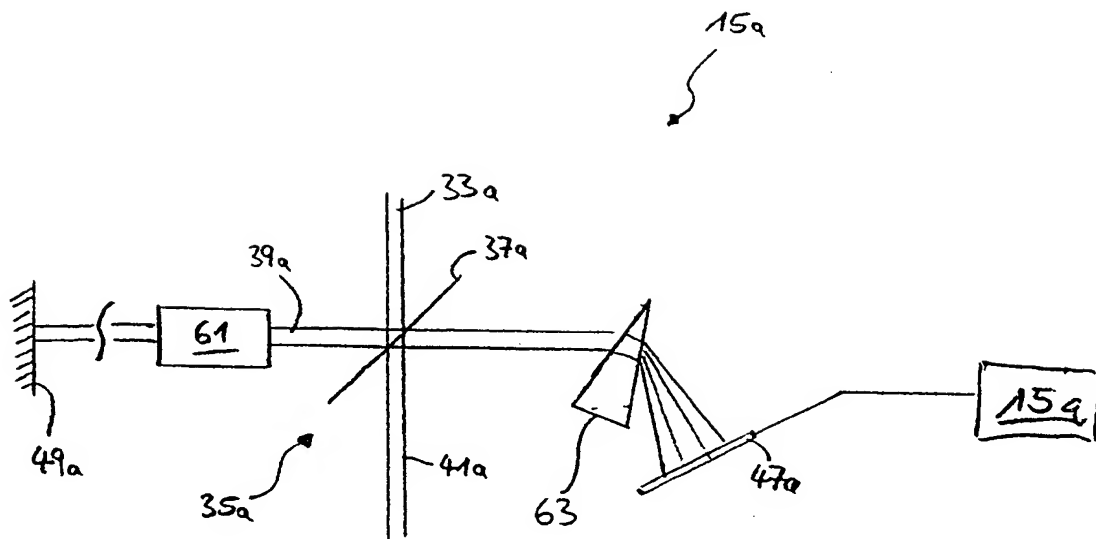


Fig 5